

**Министерство науки и высшего образования РФ
Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего образования
«Заполярный государственный университет им. Н. М. Федоровского»**

Кафедра «Металлургия цветных металлов»

Утверждаю:

Проректор по образовательной
деятельности и молодежной политике
_____/ В.И. Игнатенко/

« ____ » _____ 2024 г.

ПРОГРАММА

вступительного испытания для поступающих в аспирантуру

2.6. Химические технологии, науки о материалах, металлургия

шифр и наименование группы научных специальностей

2.6.2. - Металлургия черных, цветных и редких металлов

шифр и наименование научной специальности

Норильск 2024

1. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

Программа вступительного экзамена в аспирантуру по научной специальности 2.6.2. – «Металлургия черных, цветных и редких металлов» разработана с учетом Паспорта научной специальности.

Вступительное испытание проводится в форме устного экзамена. Экзаменационный билет включает три вопроса из разделов настоящей программы.

Поступающий, получив билет, письменно готовит конспект ответа на вопросы, устно отвечает на вопросы билета, а также на дополнительные вопросы членов приемной комиссии. Продолжительность экзамена составляет 30 - 45 минут.

Главной целью экзамена является оценка базовых научных знаний, научных интересов и потенциальных возможностей абитуриента в избранной сфере научно-исследовательской работы.

Поступающие в аспирантуру должны обладать глубокими знаниями программного содержания теоретических дисциплин, иметь представление о фундаментальных направлениях, разрабатываемых в избранной области, ориентироваться в разных точках зрения на рассматриваемые проблемы, логично излагать материал, уметь показать навыки владения понятийно-исследовательским аппаратом, проявить способность к анализу исследуемого материала, свободно оперировать фактами.

В основу программы вступительных испытаний в аспирантуру положены профессиональные дисциплины, изучаемые при обучении в образовательной организации уровень образования: специалист, магистр.

2. НОРМАТИВНЫЕ ДОКУМЕНТЫ

Программа вступительного экзамена по специальной дисциплине разработана в соответствии со следующими нормативными документами:

- Федеральный закон Российской Федерации от 29 декабря 2012 г. № 273-ФЗ «Об образовании в Российской Федерации»;

- Положение о присуждении ученых степеней, утвержденное постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 г. № 842 «О порядке присуждения ученых степеней»;

- Номенклатура научных специальностей, по которым присуждаются ученые степени, утвержденная приказом Министерства науки и высшего образования Российской Федерации от 24.02.2021 г. № 118;

- Паспорт научной специальности ВАК РФ (2.6.2.«Металлургия черных, цветных и редких металлов»);

- Федеральные государственные требования к структуре программ подготовки научных и научно-педагогических кадров в аспирантуре (адъюнктуре), условиям их реализации, срокам освоения этих программ с учетом различных форм обучения, образовательных технологий и особенностей отдельных категорий аспирантов 0020 (адъюнктов), утвержденных приказом Министерства науки и высшего образования Российской Федерации от 20.10.2021 г. № 951;

- Положение о подготовке научных и научно-педагогических кадров в аспирантуре (адъюнктуре), утвержденное постановлением Правительства Российской Федерации от 30.11.2021 г. № 2122;

- Программы аспирантуры разрабатываются в соответствии с федеральными государственными требованиями к структуре программ подготовки научных и научно-педагогических кадров в аспирантуре, условиям их реализации, срокам освоения этих программ с учетом различных форм обучения, образовательных технологий и особенностей отдельных категорий аспирантов.

- Программы аспирантуры разрабатываются по научным специальностям, предусмотренным номенклатурой научных специальностей, по которым присуждаются ученые степени, утверждаемой Министерством науки и высшего образования Российской Федерации (далее – научные специальности).

3. ТРЕБОВАНИЯ К ПРОФЕССИОНАЛЬНОЙ ПОДГОТОВКЕ ЛИЦА, ПОСТУПАЮЩЕГО В АСПИРАНТУРУ

К освоению программ подготовки научно-педагогических кадров в аспирантуре допускаются лица, имеющие образование не ниже высшего образования – специалитет или магистратура.

4. СОДЕРЖАНИЕ ПРОГРАММЫ ВСТУПИТЕЛЬНЫХ ИСПЫТАНИЙ

Часть 1. Материаловедение

1.1. Межатомные взаимодействия и электронное строение твердого тела

1. Основные типы химической связи в твердых телах. Потенциалы межатомного взаимодействия. Энергия связи металлических, ковалентных, ионных кристаллов. Равновесное межатомное расстояние.

2. Электронное строение твердых тел с различным типом связи. Модель свободных электронов для металлов. Вырожденный электронный газ. Плотность состояний. Поверхность Ферми. Зонная теория твердых тел, энергетический спектр электронов в кристалле, деление тел на проводники, полупроводники и диэлектрики.

1.2. Атомная структура твердых тел

1. Кристаллические тела. Трансляционная симметрия. Элементарная ячейка кристаллической решетки. Кристаллические сингонии. Решетки Бравэ. Точечные и пространственные группы симметрии. Координационное число, плотность упаковки. Кристаллографические индексы плоскостей и направлений в решетке. Анизотропия свойств кристаллов. Кристаллографическая текстура поликристаллов.

2. Аморфное состояние, металлические стекла. Панокристаллы. Квазикристаллы.

1.3. Дефекты кристаллического строения

1. Точечные дефекты. Вакансии и межузельные атомы. Равновесная концентрация точечных дефектов. Неравновесные точечные дефекты. Рождение, миграция и сток вакансий. Группы вакансий.

2. Дислокации. Вектор Бюргерса. Плотность дислокаций. Краевая, винтовая и смешанная дислокации. Скольжение и переползание дислокаций. Пороги на дислокациях. Поле напряжений и энергия дислокаций. Взаимодействие дислокаций. Полные и частичные дислокации. Дефекты упаковки. Образование и размножение дислокаций. Источник Франка-Рида. Взаимодействие дислокаций и примесных атомов.

3. Границы зерен и субзерен. Угол разориентировки и энергия границ. Границы наклона и кручения. Малоугловые и высокоугловые границы. Миграция границ. Взаимодействие границ зерен с примесными атомами.

1.4. Фазы и фазовые равновесия в материалах

1. Твердые растворы замещения, внедрения и вычитания. Упорядоченные твердые растворы (сверхструктуры). Электронные соединения (фазы Юм-Розери), фазы внедрения, фазы Лавеса, σ -фазы.

2. Равновесие фаз в многокомпонентных системах. Фазовые переходы I и II рода. Правило фаз. Диаграммы состояния двойных и тройных систем с непрерывным рядом твердых растворов, с эвтектическими, перитектическими и монотектическими равновесиями, с конгруэнтно и инконгруэнтно плавящимися промежуточными фазами, с полиморфизмом компонентов. Использование геометрической термодинамики для анализа диаграмм состояния.

3. Методы расчета изменения энергии Гиббса и константы равновесия для реакций растворения металлов, оксидов, сульфидов, реакций с образованием твердой фазы.

1.5. Диффузия

1. Феноменологические законы диффузии. Самодиффузия и гетеродиффузия. Модель случайных блужданий для описания диффузии. Механизмы диффузии, роль точечных дефектов, диффузия по дислокациям и границам зерен. Температурная зависимость коэффициента диффузии.

2. Диффузия в поле градиента концентраций. Концентрационная зависимость коэффициентов диффузии. Эффект Киркендалла. Выравнивающая и разделительная (реактивная) диффузия. Диффузия в силовых полях.

1.6. Кристаллизация превращения.

1. Гомогенное зарождение кристаллов в расплаве. Критический размер зародыша. Скорость образования и скорость роста кристаллических дислокационных механизмы роста. Кинетика кристаллизации, кристаллизации. Критическая скорость охлаждения расплава. Гетерогенное зарождение.

2. Отклонения от равновесия при кристаллизации. Влияние скорости охлаждения и градиента температуры расплава на микроструктуру. Концентрационное переохлаждение. Ячеистая и дендритная форма роста кристаллов. Дендритная ликвация. Образование метастабильных фаз при кристаллизации. Бездиффузионная кристаллизация.

3. Структура слитка. Модифицирование. Направленная кристаллизация. Зонная плавка. Выращивание монокристаллов из расплава. Закалка из жидкого состояния.

4. Эвтектическая кристаллизация. Строение эвтектических колоний. Нормальная, аномальная и вырожденная эвтектики. Перитектическая кристаллизация.

1.7. Фазовые превращения в твердом состоянии

1. Общее понятие о твердофазных процессах. Твердофазные процессы и их роль в металлургических технологиях. Диффузия как одна из стадий твердофазных процессов. Температурная зависимость коэффициентов диффузии. Твердофазные химические реакции, их классификация. Экспериментальные методы изучения твердофазных процессов. Диффузионно-кинетический режим роста фазы. Кинетика гетерогенного зарождения, модель Мак-Кевана. Уравнение изотермической кинетики, модель Яндера. Модель Колмогорова - Авраами - Ерофеева.

2. Полиморфные превращения. Нормальный и сдвиговый механизмы структурного и размерного соответствия.

3. Эвтектоидное превращение, механизм и кинетика. Эвтектоидное превращение в сталях. Строение перлита. Диаграммы изотермических превращений. Термокинетические диаграммы.

4. Мартенситное превращение. Термодинамика, механизм и кинетика мартенситного превращения. Микроструктура и субструктура мартенсита. Обратимость превращения. Эффект памяти формы.

5. Механизм и кинетика бейнитного превращения. Строение бейнита.

6. Распад пересыщенного твердого раствора. Спинодальный распад. Модулированные структуры. Термодинамика образования промежуточных фаз. Кластеры, зоны Гинье-Престона. Когерентные, частично когерентные и некогерентные выделения. Непрерывный и прерывистый распад. Роль вакансий, дислокаций и границ зерен в процессах выделения.

7. Упорядочение твердого раствора. Дальний и ближний порядок. Антифазные домены. Изменение свойств раствора при упорядочении.

1.8. Структурные превращения в твердом состоянии

1. Изменения структуры при холодной пластической деформации. Линии и полосы скольжения. Ячеистая субструктура. Волокнистая микроструктура. Кристаллографическая и металлографическая текстуры деформации, механизмы их образования. Анизотропия свойств текстурованных материалов.

2. Изменения структуры при нагреве после холодной деформации. Возврат (отдых, полигонизация). Первичная, собирательная и вторичная рекристаллизация. Движущая сила, механизм и кинетика этих процессов. Природа критической деформации. Диаграмма рекристаллизации. Кристаллографическая текстура рекристаллизованного материала, механизм ее образования.

3. Изменения структуры при горячей деформации. Динамический возврат и динамическая рекристаллизация.

4. Сфероидизация и коалесценция выделений второй фазы в гетерогенном материале. Растворно-осадительный механизм.

5. Диаграмма железо-углерод. Процессы при структурообразовании железоуглеродистых сплавов.

1.9. Способы воздействия на структуру и свойства материалов

1. Основы термической обработки. Классификация видов термической обработки: отжиги 1 и 2 рода, закалка, отпуск, старение, термомеханическая и химико-термическая обработки.
2. Гомогенизационный отжиг, изменение структуры и свойств при гомогенизационном отжиге. Дорекристаллизационный и рекристаллизационный отжики. Факторы, влияющие на размер рекристаллизованного зерна. Отжиг для уменьшения остаточных напряжений. Механизм уменьшения остаточных напряжений при отжиге.
3. Разновидности отжига 2 рода: полный, неполный, изотермический, сфероидизирующий отжики, нормализация, патентирование.
4. Закалка без полиморфного превращения.
5. Закалка с полиморфным превращением (закалка на мартенсит). Изменение свойств при закалке на мартенсит. Критическая скорость охлаждения при закалке, прокаливаемость. Способы закалки: в одной охлаждающей среде, в двух средах, ступенчатая, изотермическая (бейнитная), с обработкой холодом, поверхностная.
6. Старение. Изменение свойств сплавов при старении. Естественное и искусственное старение. Перестаривание.
7. Отпуск. Изменение фазового состава, микроструктуры и субструктуры при отпуске сталей. Обратимая и необратимая отпускная хрупкость.
8. Термомеханическая обработка. Низкотемпературная термомеханическая обработка сталей и стареющих сплавов.
9. Химико-термическая обработка. Изменения состава и структуры при химико-термической обработке. Однофазная и многофазная диффузионные зоны. Связь строения диффузионного слоя с диаграммой состояния. Диффузионное насыщение неметаллами и металлами. Диффузионное удаление элементов.
10. Порошковая металлургия, основные технологические этапы.
11. Методы обработки поверхности и получения покрытий. Изменение поверхностного слоя материалов при высокоэнергетических воздействиях. Электронно-лучевая и лазерная обработка. Ионная имплантация. Ионно-плазменное распыление. Термическое напыление. Осаждение из газовой фазы. Электролитическое осаждение.

1.10. Пластическая деформация и разрушение, механические свойства материалов

1. Пластическая деформация скольжением и двойникованием. Диаграммы деформации моно- и поликристаллов. Системы скольжения. Деформационное упрочнение; влияние на него температуры и скорости деформации. Теория предела текучести.
2. Основные механические характеристики материалов: упругости, текучести и прочности, истинное сопротивление разрыву, характеристики пластичности при растяжении, твердость, вязкость разрушения и ударная вязкость.
3. Упрочнение при образовании твердых растворов и при выделении избыточных фаз (когерентных и некогерентных). Влияние размера зерна на механические свойства. Сверхпластичность.
4. Хрупкое и вязкое разрушение. Механизмы зарождения трещин. Распространение трещин при хрупком и вязком разрушении. Критерии вязкости разрушения. Строение изломов. Переход от хрупкого разрушения к вязкому. Порог хладноломкости. Природа хладноломкости металлов с ОЦК-решеткой. Способы борьбы с хладноломкостью.
5. Жаропрочность. Стадии ползучести. Релаксация напряжений. Длительная прочность. Влияние состава и структуры материала на жаропрочность.
6. Усталость. Диаграммы усталости. Механизм усталостного разрушения. Факторы, влияющие на усталостную прочность. Термическая усталость. Контактная усталость.

1.11. Взаимодействие материалов с окружающей средой

1. Окисление, термодинамика и кинетика процесса. Легирование с целью защиты от окисления. Внутреннее окисление.
2. Электрохимическая коррозия. Равномерная, межкристаллитная, точечная коррозия. Коррозия под напряжением. Коррозионное растрескивание. Коррозионная усталость. Коррозия в жидких металлах.

1.12. Физические свойства материалов

1. Упругие свойства материалов. Закон Гука для изотропных и анизотропных материалов. Связь модулей упругости с потенциалом межатомного взаимодействия. Модули упругости гетерогенных материалов.

2. Термическое расширение. Ангармонизм колебаний атомов в кристаллической решетке. Температурный коэффициент линейного расширения гетерогенных материалов.

3. Теплоемкость. Квантовые теории решеточной теплоемкости Эйнштейна и Дебая. Температура Дебая. Спектр нормальных колебаний решетки. Фононы. Теплоемкость сплавов. Изменение теплоемкости при фазовых и структурных превращениях.

4. Теплопроводность материалов. Кинетическая теория теплопроводности. Время и длина свободного пробега. Решеточная (фононная) теплопроводность, фонон-фононное рассеяние, рассеяние фононов на дефектах кристаллической решетки и примесях, изотопическое рассеяние.

5. Электропроводность. Электроны проводимости. Время релаксации. Рассеяние электронов на фононах, дефектах решетки, примесях. Влияние температуры и легирования на электрическое сопротивление металлов и полупроводников. Сопротивление твердых растворов. Связь электро- и теплопроводности металлов. Электрическая проводимость гетерогенных сплавов.

6. Магнитные свойства. Диамагнетизм и парамагнетизм атомов. Закон Кюри. Диамагнетизм и парамагнетизм электронного газа. Магнитное упорядочение. Ферромагнетизм. Доменные границы. Энергия магнитной анизотропии. Характеристики петли гистерезиса и кривой намагничивания ферромагнетика. Теория коэрцитивной силы.

1.13. Методы исследования и контроля структуры и свойств материалов

1. Дифракционные методы исследования атомной структуры материалов. Особенности распространения волн в периодических структурах. Закон Вульфа-Брэгга. Обратная решетка. Основные методы рентгеноструктурного анализа. Рентгеновская дифрактометрия. Качественный и количественный рентгеновский фазовый анализ. Электронография и нейтронография. Рентгенографический анализ текстур, остаточных напряжений, дефектов кристаллической решетки, типа твердого раствора, химического дальнего порядка.

2. Просвечивающая и растровая электронная микроскопия, анализ фазового состава, микроструктуры и дефектов кристаллического строения.

3. Методы локального анализа химического состава. Микрорентгеноспектральный анализ. Рентгеноэлектронная спектроскопия (электронная спектроскопия для химического анализа). Масс-спектроскопия вторичных ионов.

4. Изучение микроструктуры с помощью световой микроскопии. Методы количественной металлографии.

5. Методы измерения физических свойств. Термический анализ. Абсолютный и дифференциальный методы измерения. Калориметрия, методы смещения, ввода и протока тепла; сканирующая, модуляционная и импульсная калориметрия.

6. Дилатометрия; оптический, емкостной, индуктивный датчики перемещения. Методы измерения теплопроводности. Резистометрия, мостовые и потенциометрические методы.

7. Измерение магнитных свойств диа-, пара- и ферромагнетиков. Определение параметров кривой намагничивания и петли гистерезиса в статическом и динамическом режимах измерения. Термомагнитный анализ. Применение измерений физических свойств для решения материаловедческих задач (изучения изменений структуры и фазовых превращений).

8. Методы механических испытаний. Испытания на растяжение, сжатие, изгиб, кручение. Измерение микротвердости и твердости по Бринеллю, Роквеллу, Виккерсу. Испытания на ползучесть, длительную прочность, релаксацию напряжений. Усталостные испытания.

1.14. Основные классы материалов в металлургии

1. Классификации материалов по химическому составу, способу получения и назначению. Металлические и неметаллические материалы.

2. Сплавы на основе железа. Углеродистые стали. Белые, серые, половинчатые, ковкие и высокопрочные чугуны. Легированные стали, классификации по фазовому равновесию, структуре, области применения, уровню легированности.

3. Низколегированные стали повышенной прочности. Конструкционные улучшаемые стали. Пружинные и износостойкие стали. Штамповые стали.
4. Жаропрочные феррито-перлитные, мартенситные и аустенитные стали. Нержавеющие ферритные и аустенитные стали.
5. Цветные металлы и сплавы, легирование, термическая обработка, структура, свойства, области применения.
6. Алюминий и его сплавы. Магний и его сплавы.
7. Титан и его сплавы. Никель и его сплавы.
8. Медь и ее сплавы.
9. Сплавы на основе тугоплавких металлов (Mo, W, Nb, Cr).
10. Цинк, свинец, олово и их сплавы.
11. Материалы с особыми физическими свойствами (прецизионные сплавы). Проводниковые и резистивные сплавы. Сверхпроводящие материалы. Магнитно-мягкие и магнитно-твердые материалы. Сплавы с особыми упругими и тепловыми свойствами.
12. Композиционные материалы. Дисперсно-упрочненные композиционные материалы на алюминиевой и никелевой основе, структура и свойства, принципы выбора упрочнителей.
13. Волокнистые композиционные материалы на основе алюминия, титана, никеля, магния; виды и свойства упрочнителей.
14. Слоистые композиционные материалы на основе металлов, неограниченно растворяющихся друг в друге, не растворяющихся или образующих интерметаллиды. Направленно кристаллизованные композиционные материалы эвтектического и неэвтектического типа. Интерметаллические соединения как основа жаропрочных сплавов, получаемых направленной кристаллизацией.

Часть 2. Металлургия черных, цветных и редких металлов

1. Железорудные минералы. Требования к качеству железных руд. Принципы металлургической и экономической оценки рудного сырья. Факторы, определяющие рентабельность промышленной переработки руды.
2. Требования, предъявляемые к доменному топливу. Процесс производства кокса, устройство коксовых печей (батарей), технология коксохимического производства. Качество доменного кокса: технический анализ, физические и механические свойства. «Заменители» кокса в доменной плавке: природный газ, коксовый газ, мазут, пылеугольное топливо, их состав и характеристика.
3. Восстановление оксидов железа. Прямое и косвенное восстановление. Влияние соотношения степеней прямого и косвенного восстановления на расход кокса в доменной плавке. Восстановление оксидов железа водородом. Восстановление в доменной печи марганца, кремния, фосфора и других элементов. Факторы, способствующие или затрудняющие восстановление этих элементов.
4. Источники поступлений серы в доменную печь, ее поведение в различных зонах печи. Распределение серы между чугуном, шлаком и газом. Основная реакция перехода серы из чугуна в шлак. Факторы, способствующие протеканию этой реакции. Внедоменная десульфурация чугуна.
5. Доменная печь. Профиль рабочего пространства. Фундамент. Огнеупорная футеровка. Охлаждение печи. Устройство леток и фурменных приборов. Засыпный и распределительный аппараты. Устройства для загрузки шихтовых материалов в печь.
6. Окисление примесей сталеплавильной ванны. Термодинамика окисления углерода. Концентрация углерода и кислорода в стальной ванне в процессе плавки. Кинетика окисления углерода. Термодинамика окисления кремния, марганца и хрома. Физико-химические основы окисления фосфора и удаления серы.
7. Термодинамика раскисления стали. Раскислительная способность отдельных раскислителей. Зависимость активности кислорода от концентрации раскислителя. Раскисление комплексными раскислителями.
8. Реакционная зона конвертера сталеплавильного производства, ее температурный режим, окислительные процессы в реакционной зоне, роль реакционной зоны в процессах шлакообразования, теплообмен в реакционной зоне.

9. Современное состояние и перспективы развития электросталеплавильного производства. Основные условия обезуглероживания. Обезуглероживание высокохромистых и высокомарганцовистых расплавов. Особенности получения слабонизкоуглеродистых сталей в дуговой печи внепечными методами.

10. Общие принципы извлечения меди, никеля, свинца, цинка из руд и концентратов.

11. Разновидности отражательной плавки. Целесообразность предварительного обжига концентратов перед плавкой. Преимущества и недостатки переработки конвертерных шлаков в отражательной печи.

12. Огневое и электролитическое рафинирование меди. Теоретические основы. Переработка анодных шламов. Практика процессов.

13. Способы подготовки окисленных никелевых руд к плавке в шахтных печах. Их преимущества и недостатки. Реакции, протекающие по высоте шахты печи и во внутреннем горне.

14. Агломерирующий обжиг свинцовых концентратов. Восстановительная плавка свинцового агломерата. Химизм процесса. Поведение свинца и металлов-спутников при плавке.

15. Пирометаллургические методы получения цинка из огарка. Электротермия цинка. Особенности выплавки цинка в шахтных печах.

16. Извлечение благородных металлов амальгамацией. Теоретические основы и технология процесса цианирования благородных металлов.

17. Техника электролитического получения магния. Конструкции электролизеров.

18. Переработка бокситов гидрохимическим способом. Принципиальная технологическая схема способа Байера.

19. Получение глинозема способом спекания из бокситов. Принципиальная технологическая схема способа спекания.

20. Теория электролиза криолитоглиноземных расплавов. Механизмы катодного и анодного процессов. Конструкция электролизера.

21. Вольфрам и молибден. Способы разложения рудных концентратов. Производство чистых триоксидов молибдена и вольфрама. Механизм восстановления триоксидов вольфрама и молибдена водородом.

22. Тантал и ниобий. Обзор и сопоставление способов разложения рудных концентратов различного типа (танталит-колумбит, лопарит, пирохлор). Основы способов разделения тантала и ниобия.

23. Титан, цирконий и гафний. Основы современной технологии производства четыреххлористого титана.

24. Физико-химические основы способов вскрытия циркониевых концентратов. Способы разделения циркония и гафния.

25. Основы процессов получения редкоземельных металлов высокой чистоты. Варианты технологических схем переработки моноцитовых концентратов с получением соединений редкоземельных металлов и тория.

26. Теоретические основы процесса сорбции золота и серебра из цианистых растворов активированным углем, ионно-обменными смолами (анионитами) и жидкостной экстракцией органическими растворителями. Специальные процессы переработки руд и концентратов сложного состава.

27. Аффинаж золота, серебра и металлов платиновой группы. Теоретические основы и технология электролитического аффинажа золота и серебра. Химия и технология процессов аффинажа платинового концентрата и методы получения платины высокой чистоты.

5. СПИСОК РЕКОМЕНДУЮЩИХ ИСТОЧНИКОВ

Литература к части 1

1. Лившиц Б.Г. Металлография. – М. Металлургия, 1990. - 336 с.
2. Киттель Ч. Введение в физику твердого тела. – М. Наука. 1978. - 792 с.
3. Захаров А.М. Диаграммы состояния двойных и тройных систем. – М. Металлургия, 1990. - 240 с.
4. Новиков И.И., Розин К.М. Кристаллография и дефекты кристаллической решетки. – М.: Металлургия. 1990. - 336 с.
5. Кристаллография, рентгенография и электронная микроскопия. / Уманский Я.С., Скаков Ю.А., Иванов А.Н., Расторгуев Л.Н. – М. Металлургия. 1982. - 632 с.
6. Жуховицкий А.А., Шварцман Л.А. Физическая химия. – М. Металлургия, 1976. - 350 с.
7. Лившиц Б.Г., Крапошин В.С., Липецкий Я.Л. Физические свойства металлов и сплавов. – М. Металлургия, 1980. - 320 с.
8. Новиков И.И. Теория термической обработки металлов. – М.: Металлургия. 1986. - 480 с.
9. Уманский Я.С., Скаков Ю.А. Физика металлов. – М.: Атомиздат, 1978. - 352 с.
10. Штремель М.А. Прочность сплавов. – М.: МИСиС, ч.1 Дефекты решетки, 1999. - 384 с. ч.2 Деформация. 1997. - 527 с.
11. Бокштейн С.З. Строение и свойства металлических сплавов. – М.: Металлургия. 1971. - 496 с.
12. Золотаревский В.С. Механические свойства металлов. – М.: МИСиС. 1998. 400 с.
13. Бернштейн М.Л., Займовский В.А. Механические свойства металлов. – М.: Металлургия. 1979. - 496 с.
14. Физическое металловедение. / Ред. Р.У. Кан и П. Хаазен. - в 3-х томах. – М.: Металлургия. 1987.
15. Орлов А.В., Перевезенцева А.И., Рыбин В.П. Границы зерен в металлах. – М.: Металлургия. 1980. - 310 с.

Литература к части 2

1. Зеликман А.Н., Коршунов Б.Г. Металлургия редких металлов. Учебник для вузов. М.: Металлургия, 1991.
2. Зайцев В.Я., Мергулис Е.В. Металлургия свинца и цинка. Учебн. пособие для вузов М.: Металлургия, 1985.
3. Вегман Е.Ф. Теория и технология агломерации. М.: Металлургия, 1974.
4. Ванюков А.В., Уткин Н.И. Комплексная переработка медного и никелевого сырья. Учебник для вузов. Челябинск: Металлургия, 1988.
5. Вольдман Г.М., Зеликман А.Н. Теория гидрометаллургических процессов. М.: Металлургия, 1993.
6. Гасик М.И., Лекишев Н.П. Теория и технология электрометаллургии ферросплавов. Учебник для вузов. М.: Интернет-Инжиниринг, 1999.
7. Глинков М.А., Глинков Г.М. Общая теория тепловой работы печей. М.: Металлургия, 1990.
8. Григорян В.А., Белянчиков Л.Н., Стомахин Л.Я. Теоретические основы электросталеплавильных процессов. М.: Металлургия, 1987.
9. Доменное производство: Справочник. Т. 1 / Под ред. Е.Ф. Ветмана. М.: Металлургия, 1989.
10. Карабасов Ю.С., Чижилова В.М. Физико-химия восстановления железа из оксидов. М.: Металлургия, 1986.
11. Котляр Ю.А., Меретуков М.А., Стрижко Л.С. Металлургия благородных металлов. Учебник для вузов в 2 кн. М.: МИСиС: Руда и металлы, 2005.
12. А.И. Лайнер, Н.И. Еремин, Ю.А. Лайнер, И.З. Певзнер Производство глинозема – М.: Металлургия, 1978.

13. Левин А.И. Электрохимия цветных металлов. М.: Металлургия, 1982
14. Масленицкий И.Н., Чугаев Л.В. Металлургия благородных металлов М.: Металлургия, 1987.
15. Металлургия стали. Учебник для вузов / Под ред. В.И. Явойского и Г.Н. Ойса. М.: Металлургия, 1973.
16. Металлургия чугуна. Учебник для вузов / Е.Ф. Вегман, Б.Н. Жеребин, А.Н. Похвиснев и др. М.: Металлургия, 1989.
17. Николаев И.В., Москвитин В.И., Фомин Б.А. Металлургия легких металлов. Учебник для вузов. М.: Металлургия, 1997.
18. Поволоцкий Д.Я., Кудрин В.А., Вишкарев А.Ф. Внепечная обработка стали. Учебник для вузов. М.: Изд-во МИСиС, 1995.
19. ПисиДж.Г., Давенпорт В.Г. Доменный процесс. Теория и практика. М.: Металлургия, 1984.
20. Рысс М.А. Производство ферросплавов. М.: Металлургия 1985.
21. Теория и технология электрометаллургических процессов / Ю.В. Борисоглебский, М.М. Ветюков, В.И. Москвитин, С.Н. Школьников; Под ред. М.М. Ветюкова. М.: Металлургия, 1994.
22. Теплотехника металлургического производства. Т 1. Теоретические основы/ В.А. Кривандин, В.А. Арутюнов, В.В. Белоусов и др. М.: Изд-во МИСиС, 2002.
23. Теплотехника металлургического производства. Т. 2. Конструкция и работа печи / В.А. Кривандин, В.В. Белоусов, Г.С. Сборщиков и др. М.: Изд-во МИСиС, 2002.
24. Техническая термодинамика / В.И. Лобанов, Г.П. Ясников, Я.М. Гордон, А.С. Телегин. М.: Металлургия, 1992.
25. Юсфин Ю.С., Гиммельфарб А.А., Пашков А.Ф. Новые процессы получения металла. Металлургия железа. Учебник для вузов. М.: Металлургия, 1994.
26. Явойский В.И. Теория процессов производства стали. М.: Металлургия, 1985.
27. Баймаков Ю.В., Журин А.И. Электролиз в гидрометаллургии. М.: Металлургия, 1982.

1. Электронная библиотека eLIBRARY.RU. Содержит рефераты и полные тексты научных статей и публикаций. На платформе eLIBRARY.RU доступны электронные версии российских научных журналов. На сайте eLIBRARY.RU представлена информация о Российском индексе научного цитирования. Доступ открыт с любого компьютера университета. Процедура регистрации на портале eLIBRARY.RU.

2. Информационно-справочные системы «Консультант-Плюс» и «Гарант». Информационные банки систем содержат федеральные и региональные правовые акты, судебную практику, книги, интерактивные энциклопедии и схемы, комментарии ведущих специалистов и материалы известных профессиональных изданий, бланки отчетности и образцы договоров, международные соглашения, проекты законов. Доступ открыт с любого компьютера университета.

Сетевые ресурсы свободного доступа

3. КиберЛенинка (Научная электронная библиотека). Содержит научные статьи, опубликованные в журналах России и ближнего зарубежья, в том числе, научных журналах, включённых в перечень ВАК РФ ведущих научных издательств для публикации результатов диссертационных исследований. Адрес: <http://www.cyberleninka.ru/>